(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

UO‘K: 622.235.5 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.29

PORTLOVCHI MODDALARNING DETONATSIYALANISHIDA TO‘LQINLAR HAMDA BOSIM FAZASI VA ULARNING AHAMIYATI

Hayitov Odiljon G‘ofurovich
g.-m.f.d DSc, Islom Karimov nomidagi TDTU “Konchilik ishi” kafedrasi professori, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: o_hayitov@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-7735-5980

Gulmurodov Javohir Nuriddin o‘g‘li
Islom Karimov nomidagi TDTU “Konchilik ishi” kafedrasi doktoranti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: javohirayyub@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-0076-4625

Karamov Alisher Nazarbaevich
Islom Karimov nomidagi TDTU “Konchilik ishi” kafedrasi doktoranti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: alisherkaramov925@gmail.com
ORCID ID:0009-0000-9162-2419

Annotatsiya. *Tog‘ jinslarini burg‘ilab portlatish yo‘li bilan ajratib olish (maydalash) eng optimal usullardan hisoblanadi bunda portlovchi modda energiyasi uning zarba to‘lqini kuchi va skvajina devorlariga bo‘lgan bosimi tog‘ jinsining maydalanish darajasini belgilovchi asosiy omillardan sanaladi. Portlovchi modda va portlash jarayonini analitik ravishta o‘rganish uni chuqur talqin qilish yuqorida sanab o‘tilgan portlovchi moddaning fizik – mexanik xususiyatlarini yanada optimallashtirish usullarini yoki mavjud usullardan yanada kengroq va unumliroq foydalanishga yordam beradi. Ushbu holatda portlashda yuzaga keladigan to‘lqinlar va ularning ahamiyatini o‘rganish va kengroq tadbiq qilish muhum omillardan sanaladi. Portlash jarayoni fizik va kimyoviy jihatdan murakkab jarayon hisoblanadi, portlashda tog‘ jinslarini maydalovchi dinamik va termodinamik kuchlarning dastlab to‘lqinlar shaklida namoyon bo‘lishi so‘ngra esa bosim profillarini shakillantirgani sababli ularni o‘rganish portlash jarayonining asosiy mohiyati sanaladi.*

Kalit so‘zlar: *Portlovchi modda, detonatsiyalanish, zarba to‘lqini, C – J chegarasi, kimyoviy reaksiya chegarasi, ZND, tovush tezligi nuqtasi, to‘lqin fronti.*

ВОЛНЫ И ФАЗА ДАВЛЕНИЯ ПРИ ДЕТОНАЦИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ

Хайитов Одилжон Гафурович
д.г.-м.н. DSc, профессор кафедры «Горное дело» ТГТУ имени Ислам Каримов, Ташкент, Узбекистан

Гулмуродов Жавохир Нуриддин угли
Докторанту кафедры «Горное дело» ТГТУ имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан

Карамов Алишер Назарбаевич
Докторанту кафедры «Горное дело» ТГТУ имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *Добыча (дробление) горных пород буровзрывным способом является одним из наиболее оптимальных методов, при котором энергия взрывчатого вещества, сила его ударной волны и давление на стенки скважины являются основными факторами, определяющими степень дробления горной породы. Аналитическое изучение и глубокое осмысление взрывчатого вещества и процесса взрыва способствуют дальнейшей оптимизации вышеуказанных физико-механических свойств взрывчатого вещества, а также более широкому и эффективному использованию существующих методов. В этой связи изучение волн, возникающих при взрыве, их значения и более широкое применение являются важными факторами. Процесс взрыва представ-*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

ляет собой сложное физико-химическое явление, при котором динамические и термодинамические силы, дробящие горные породы, сначала проявляются в виде волн, а затем формируют профили давления, поэтому их изучение составляет основную суть процесса взрыва.
Ключевые слова: *Взрывчатое вещество, детонация, ударная волна, граница Чепмена–Жуге (C–J), граница химической реакции, ZND, точка звуковой скорости, фронт волны.*

THE SIGNIFICANCE OF WAVE PROPAGATION AND PRESSURE PHASE IN EXPLOSIVE DETONATION PROCESSES

Hayitov Odiljon Gafurovich
DSc, Professor of the Department of "Mining" of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

Gulmurodov Javohir Nuriddin ugli
Doctoral student of the Department of "Mining" of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

Karamov Alisher Nazarbaevich
Doctoral student of the Department of "Mining" of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *Rock fragmentation by means of drilling and blasting is considered one of the most optimal methods. In this process, the explosive energy—particularly the strength of its shock wave and the pressure exerted on the borehole walls—is among the key factors determining the degree of rock fragmentation. An analytical study and deeper interpretation of the explosive and blasting process help in optimizing the physical and mechanical properties of the explosive or in expanding and improving the efficiency of existing methods. In this context, the study and broader application of the waves generated during blasting and their significance are crucial factors. The blasting process is a physically and chemically complex phenomenon, in which the dynamic and thermodynamic forces that fragment rock initially manifest as waves and subsequently form pressure profiles; thus, studying them is essential to understanding the core essence of the blasting mechanism.*
Keywords: *Explosive, detonation, shock wave, Chapman–Jouguet (C–J) point, chemical reaction zone, ZND model, sonic point, wave front.*

Kirish. Ma’lumki, portlovchi moddalarning asosiy xususiyatlarini belgilovchi omillardan biri ularning detonatsiyalanish tezligi va kimyoviy reaksiyalar natijasida hosil bo‘ladigan skvajinadagi (quduqdagi) bosimdir [1, p. 14–16; 2, p. 738]. Umuman olganda, portlash — kimyoviy jarayonning keskinlashib fizik jarayonga o‘tishi natijasidir. Ya’ni, dastlab portlovchi moddada oksidlanish reaksiyalari boshlanadi; modda tanasida kimyoviy reaksiyalar (termodinamik sharoitda) kechishi natijasida ma’lum to‘lqinlar shakllanadi, bu esa bosimning ortishiga olib keladi; shu jarayonlar oqibatida bizga ma’lum bo‘lgan portlash yuz beradi [3, p. 122; 4, p. 161]. To‘lqinlarning har biri jarayon bosqichlarini bir-biridan ajratib turuvchi “chegara devori” sifatida namoyon bo‘lib, ularni yanada chuqurroq o‘rganishga turtki beradi.

Detonatsiya boshlanishi bilan portlovchi modda ichida kechadigan hodisalar muayyan to‘lqin frontlari bilan chegaralanadi. Masalan, kimyoviy reaksiya borayotgan sohaning chegarasi Chapman–Jouguet (C–J) chizig‘i bilan ifodalanadi; ushbu chiziqdan keyin detonatsiya to‘lqini rivojlanadi. Ushbu maqolada portlashni yuzaga keltiruvchi asosiy omillar, detonatsiya va uning to‘lqin frontlari hamda bosim shartlari haqida batafsil va fundamental qarashlar bayon etiladi.

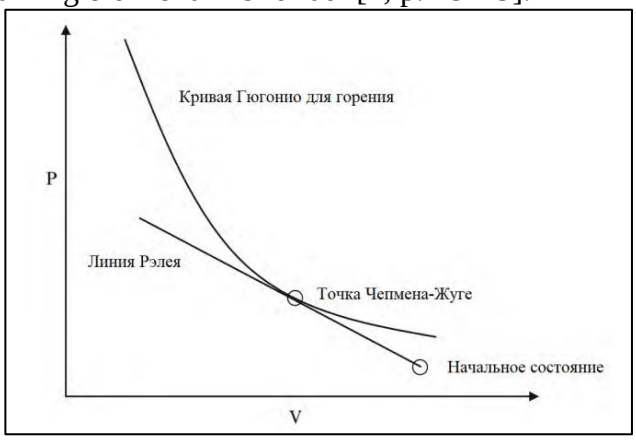
Metodologiya. Portlash jarayonini analitik tahlil qilib, aniq va qat’iy xulosa bildirish oson emas, chunki hatto detonatsiya jarayonining o‘zi ham nihoyatda murakkab termodinamik hodisa bo‘lib, bir qator boshqa fizik jarayonlarni ham qamrab oladi. Soniyasiga 3000–8000 m tezliklarda kechadigan ushbu jarayonda bosim profili, to‘lqin frontlari va ularning turlarini chuqur tadqiq etish yuqori darajadagi hisob-kitoblar hamda ilg‘or texnologiyalarni talab etadi. Yillar davomida detonatsiya hodisasini tavsiflash uchun Becker–Kistiakowsky–Wilson (BKW), Lennard-Jones–Devonshire (LJD) va Jacobs–Cowperthwaite–

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

Zwisler (JCZ) kabi ko‘plab modellar va nazariyalar taklif etilgan, biroq ularning aksariyatining mazmun-mohiyati umumiy tamoyillarga tayanadi [5, p. 119]. Xususan, keng qo‘llanadigan Chapman–Jouguet (C–J) hamda Zeldovich–Neumann–Döring (ZND) nazariyalari detonatsiya jarayoni va to‘lqin fazalari haqida asosiy tasavvurlarni beradi.

Detonatsiyalanish to‘lqini va zarba to‘lqini. Detonatsiyalanish – portlovchi modda tashqi ta’siri (masalan, alanga) oqibatida unda kimyoviy reaksiya boshlanishi bo‘lib, portlash hodisasidan sal oldin, soniyaning ulushlarida kechadigan murakkab jarayondir. Detonatsiya to‘lqini esa aynan detonatsiyalanish chegarasidagi umumiy to‘lqin va uning frontlari majmuasidir; ular zarba to‘lqini, kimyoviy reaksiya zonasi hamda tovush tezligi nuqtasi (sonic point) kabi chegaralarni o‘z ichiga oladi [6; p. 53–54]. Zarba to‘lqini – reaksiya zonasidan keyin kuzatiladigan, yuqori zichlik va bosimga ega gazlar to‘lqinidir.

C–J (plane) chegarasi. C–J chizig‘i Chapman (1899) va Jouguet (1905) tomonidan ishlab chiqilgan bo‘lib, detonatsiya jarayonida kimyoviy reaksiyaning yakunlanish nuqtasidagi termodinamik va gazdinamik to‘lqin chegarasini ifodalaydi. Ya’ni portlovchi moddada detonatsiya boshlangach, ortiqcha kislorod va yuqori harorat ta’sirida kimyoviy reaksiya kechadi; natijada yuqori bosim va temperaturadagi to‘lqin energiyasi shakllanadi. C–J chegarasi aynan shu jarayonlarning old frontini bildiradi [7; p. 28–29].



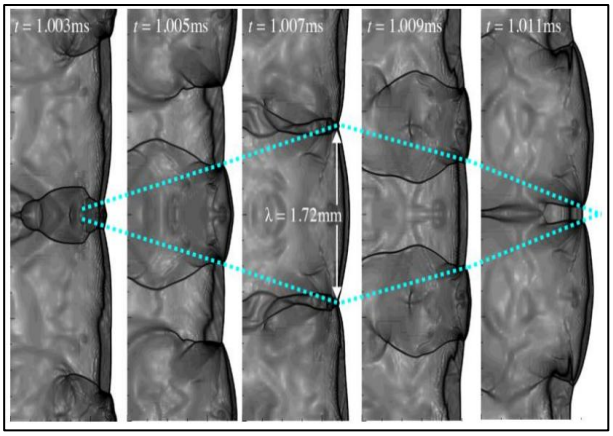
1-rasm. Ruxsat etilgan termodinamik holatda Gyugonio egri chizig‘idagi Chapman-Juge nuqtasining joylashishi [10; 10 – 11 b].

Detonatsiya davomida frontning old qismida reaksiyalanmagan molekulalar, undan keyin esa reaksiyalanish natijasida yuzaga kelgan detonatsiya to‘lqini va yuqori bosimli zona joylashadi; ularning ajratuvchi old zonasi — C–J chegarasidir. Qisqa qilib aytganda, C–J chegarasi detonatsiyada kimyoviy reaksiya yakunlanib, zarba to‘lqini mahsulotlari (gazlar) mahalliy tovush tezligida ajralib chiqadigan nuqtani ifodalaydi [8; p. 1–2; 9; p. 2].

Bunda:

- Gyugonio chizig‘i barcha mumkin bo‘lgan yakuniy termodinamik holatlar;
- Reley chizig‘i detonatsiyalanish tezligiga bog‘liq impuls muvozanati.

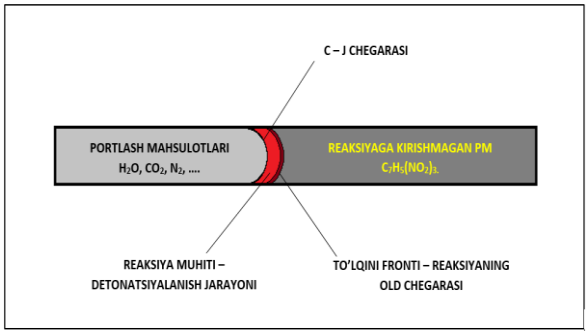
Detonatsiyaning yuzaga kelishi va rivojlanishining fizik tabiati hali to‘liq o‘rganilmagan. Gazdinamik parametrlarning katta gradientlari hamda detonatsiya to‘lqini ortidagi murakkab oqim manzarasi bu jarayonni eksperimental va nazariy jihatdan tadqiq etishni qiyinlashtiradi. Gazdagi detonatsiya to‘lqinlarini eksperimental o‘rganish usullari va natijalari R. I. Solouxin (1969) ishida yoritilgan; unda detonatsiya to‘lqini fronti beqaror bo‘lib, tekis sirt emas, balki doimo bir-biriga o‘tib, shaklini o‘zgartirib turadigan zarba to‘lqinlarining uch nuqtali (triple-point) konfiguratsiyalari kombinatsiyasidan iborat ekani ko‘rsatiladi. Ma’lum paytlarda ushbu uch nuqtali konfiguratsiyalar maxsus nuqtalarda birlashadi va aynan shu joylarda to‘lqin tuzilishi beqarorlashadi. Shu pallada detonatsiya to‘lqinidagi sharoitlar o‘z-o‘zini qo‘llab-quvvatlovchi detonatsiya uchun Chapman–Jouguet nazariyasiga mos keladi. Ushbu maxsus nuqtalar orasidagi masofa Chapman–Jouguet to‘lqin uzunligi (2-rasmdagi λ) deb ataladi [11; 4895–4896-b.].



2-rasm. Detonatsiya to‘lqini frontining vaqtga nisbatan o‘zgarishi.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

ZND nazariyasi. Portlovchi moddalarda kechadigan kimyoviy va fizik jarayonlarning eng mazmunli tavsifi ZND (Zeldovich–Neumann–Döring) nazariyasi orqali bayon etiladi. 1940–1943 yillarda Zeldovich (SSSR), Neumann (AQSh) va Döring (Germaniya) tomonidan ishlab chiqilgan ushbu nazariya C–J nazariyasining to‘laqonli rivojlantirilgan ko‘rinishi sifatida baholanishi mumkin. ZND modeli detonatsiya jarayonini tavsiflovchi eng muhim yondashuvlardan biri bo‘lib, u C–J chegarasini ham qamrab oladi va “tovush tezligi nuqtasi” (sonic point) deb nomlangan murakkab chegarani ham aniqlaydi. ZND modeliga ko‘ra, ushbu nuqta (detonatsiya to‘lqinining old qismida shakllanadigan) zarba to‘lqini ortidagi reaksiya zonasi ichida joylashadi. C–J chegarasi esa aynan shu “tovush tezligi nuqtasi” bilan bir sathda (mos holda) joylashgan bo‘ladi [6; 54–55-b.].



3-rasm. Portlovchi moddanining detonatsiylanish jarayoni va undagi to‘lqinlar ketma – ketligi.

Xulosa. Portlovchi moddalarning portlashgacha bo‘lgan bosqichi soniyaning ulushlarida kechsa-da, bu juda ko‘p kimyoviy va fizik o‘zgarishlarni o‘z ichiga oladigan murakkab jarayondir. Ushbu o‘zgarishlarni to‘g‘ri tahlil qilish va chuqur o‘rganish detonatsiyalanishning asosiy parametrlarini optimallashtirish, jarayon xavf-sizligini oshirish hamda yangi turdagi samarador va barqaror portlovchi moddalarni yaratish uchun mustahkam ilmiy zamin yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Richard A. Dick, Larry R. Fletcher and Dennis V. D’Andrea. Explosives and Blasting Procedures Manual.
2. Yu. A. Bogdanova1, S. A. Gubin,1 B. L. Korsunskii,2 and V. I. Pepekin2. Detonation Characteristics of Powerful Insensitive Explosives. September 2009.
3. Ya. B. Zel’dovich. Theory of shock waves and introduction to gas dynamics. Moscow 1946.
4. R. Meyer, J. Köhler, A. Homburg. Explosives. Sixth, Completely Revised Edition, 2007.
5. Z.X. Zhang. Overview of rock blasting theory and its engineering applications. April 2025.
6. A combustion wave in a premixed gas, the Chapman-Jouguet detonation wave. 2012. www.mech.kth.se https://www.mech.kth.se/courses/5C1219/Hand_out_PDF/Lecture%20notes%20fall%202012,%20ch%205.pdf
7. Effect of Chemistry on Temperature Boundaries of Gas dynamic-Chemistry Coherence Region for the Detonation Initiation in Systems with Induction Time Gradient. I.A. Zaev, C.A.Mechik, I.A. Kirillov, S. Van der Hoeven, D. Roekaerts.
8. Yunfeng Liu. The thermodynamics of C-J deflagration. July 2024.
9. Бивол Григорий Юрьевич Влияние геометрии канала и покрытия стенок на распространение детонационных волн. Moscow 2018.
10. Pavel V. Bulat, Konstantin N. Volkov. The History of the Study of Detonation. May 2016.